

Trabajo Fin de Grado

Análisis de las actuaciones post-incendio mediante NDVI: el caso del Incendio de Aliaga-Ejulve (2009) (Teruel, España)

Autor:

Sergio Muñoz Monsalve

Director:

Fernando Pérez Cabello

Facultad de Filosofía y Letras 2021

Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio

Agradecimientos

En primer lugar, querría mostrar mi agradecimiento a mi tutor, Fernando Pérez Cabello, por su gran paciencia conmigo y su gran disponibilidad a la hora de quedar para tutorías, ya fueran online o presenciales. Destacando todas las dudas solucionadas por su parte y sobre todo el facilitarme los materiales, tanto de la DGA como los scripts prestados.

Por otro lado agradecer a mi familia por el constante apoyo a lo largo no solo del período de desarrollo del Trabajo de Fin de Grado, también a lo largo de los cuatro años de duración de la carrera, sirviéndome de apoyo en todo momento.

Quiero destacar también el apoyo incondicional y constante de algunos compañeros en especial de mi promoción, apoyándome en mis momentos difíciles así como en materias de clase; sin ellos estos años se habrían hecho mucho más cuesta arriba.

También dar las gracias a los profesores que nos han incluido en sus salidas de campo externas a los horarios lectivos, dado que lo considero una experiencia vital, tanto para el desarrollo personal como para el académico.

Resumen

A lo largo de los últimos años la teledetección ha contribuido a generar diferentes trabajos relacionados con actuaciones post-incendio, así como crear herramientas para combatir los fuegos. En este sentido, el presente trabajo tiene como objetivo diagnosticar los niveles de regenerado de la vegetación en zonas en las que se han aplicado diferentes tratamientos post-incendio, así como evaluar dicha regeneración mediante el estudio multitemporal de dos índices espectrales (NBR y NDVI).

Para ello se han usado los índices NBR y dNBR, para estudiar la severidad del fuego, y el índice NDVI, para observar la regeneración vegetal en el área de estudio, situada entre las comarcas de Cuencas mineras, Andorra-Sierra de Arcos y el Maestrazgo. Con todo ello, los resultados obtenidos indican que el fuego tuvo una gran severidad en toda el área de estudio; a la vez que los valores NDVI han concretado que los trabajos de regeneración vegetal de mayor impacto antrópico son los más efectivos para la restauración del medio natural.

Palabras clave: Teledetección, dNBR, ANOVA, NDVI, estudio multitemporal

Abstract

Over the last few years, remote sensing has contributed to generating different jobs related to post-fire actions, as well as creating tools to fight fires. In this sense, the present work aims to diagnose the regeneration levels of vegetation in areas where different post-fire treatments have been applied, as well as to evaluate said regeneration through the multitemporal study of two spectral indices (NBR and NDVI).

For this, the NBR and dNBR indices have been used, to study the severity of the fire, and the NDVI index, to observe the plant regeneration in the study area, located between the regions of Cuencas minras, Andorra-Sierra de Arcos and El Maestrazgo. With all this, the results obtained indicate that the fire was very severe throughout the study area; At the same time, the NDVI values have specified that the plant regeneration works with the greatest anthropic impact are the most effective for restoring the natural environment.

Keywords: Remote sensing, dNBR, ANOVA, NDVI, multi-temporal study

Contenido

1. Introducción
 - 1.1. Impactos ambientales de los incendios forestales.
 - 1.2. Historia de incendios en España.
 - 1.3. Incendio de Aliaga-Ejulve (2009)
 - 1.4. Actuaciones post-incendio
 - 1.5. La teledetección aplicada al análisis de la vegetación.
2. Objetivos
3. Área de estudio y caracterización geográfica
 - 3.1. Caracterización vegetal
 - 3.2. Relieve
 - 3.3. Clima
 - 3.4. Marco socioeconómico
4. Materiales y Metodología.
 - 4.1. Materiales
 - 4.1.1. Información cartográfica del incendio de Aliaga-Ejulve (2009)
 - 4.1.2. Materiales externos
 - 4.1.3. Información de imágenes satelitales
 - 4.2. Metodología
 - 4.2.1. Tratamiento de las imágenes
 - 4.2.2. Tratamiento estadístico de los datos
 - 4.2.3. Software utilizado
5. Resultados y discusión
 - 5.1. Variaciones de los niveles de severidad por tratamiento hidrológico-forestal (T-HF)
 - 5.2. Caracterización física de las zonas tratadas con medidas de restauración
 - 5.3. Análisis de las diferencias en los valores de NDVI
 - 5.4. Evolución temporal del NDVI por tipos de tratamiento
6. Conclusión
7. Bibliografía y fuentes de información
 - 7.1. Webgrafía
8. Anexos

1. Introducción

1.1 Impactos ambientales de los incendios forestales.

El fuego es un factor de perturbación que afecta a los ecosistemas de todo el mundo, generando cambios importantes en los hábitats e incluso llegando a generar la desaparición de ciertas especies debido. En el hemisferio norte, los incendios forestales se consideran una parte integral de la dinámica forestal (Engelmark, 1993), eliminando la vegetación aérea y alterando la superficie de los suelos, condicionando pues los procesos erosivos e hidrológicos, y por lo tanto influye en el ciclo del agua y en las formas terrestres, y estos cambios a su vez terminan por condicionar la evolución de los ecosistemas (Mataix y Cerdá, 2009).

Según el decreto legislativo 1/2017, de 20 de junio, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Montes de Aragón, el incendio forestal es aquel en el que *“el fuego que se extiende sin control sobre combustibles forestales situados en el monte”*, entendiéndose por monte *“todo terreno en el que vegetan especies forestales arbóreas, arbustivas, de matorral o herbáceas, sea espontáneamente o procedan de siembra o plantación, que cumplan o puedan cumplir funciones ambientales, protectoras, productoras, culturales, paisajísticas, o recreativas*. Los efectos de los incendios sobre el medio natural son múltiples, siendo algunos extremadamente perjudiciales para la dinámica natural:

- Pérdida de especies de flora y fauna silvestre y autóctona.
- Ruptura o alteraciones importantes de las cadenas tróficas.
- Incremento de las emisiones de CO₂ a la atmosfera de forma significativa.
- Alteración de la dinámica de sucesión ecológica vegetal, por lo que se genera un rejuvenecimiento de las formaciones vegetales.

Los efectos sobre el suelo también son amplios y significativos:

- Se genera un aumento del pH debido al gran aporte de cenizas, suponiendo también un bloqueo en ocasiones de ciertos elementos positivos para el manto vegetal como pueden ser el potasio o el hierro.
- Una pérdida de la capacidad de la infiltración del agua debido a la pérdida de la materia vegetal, por lo que aumentan otros procesos relacionados.
- Fertilización del suelo debido al aporte de cenizas generadas por el fuego.

- Acumulación de cenizas en el manto por lo que ciertos procesos naturales se ven alterados.

El mayor impacto se genera a largo plazo, debido a que los ecosistemas venideros se van a ver afectados de forma directa por el nuevo suelo generado tras el fuego debido en parte a la modificación del ciclo de los nutrientes (Raison et al., 2009). Los incendios no son única y meramente negativos para los ecosistemas, son una característica muy importante de estos, muchas especies de flora y fauna han desarrollado mecanismos de adaptación que les permiten sobrevivir a estos acontecimientos de forma satisfactoria.

Teniendo en cuenta las consecuencias de la irrupción violenta del fuego, la gestión forestal de la administración autonómica se orienta principalmente al control de la escorrentía y de la erosión mediante un recubrimiento del suelo para reducir el arrastre de suelo y cenizas por la lluvia, mediante la siembra de herbáceas, acolchados (Mulch), la instalación de barreras de troncos o la construcción de diques (Gimeno et al, 2014). En el ámbito de restauración hídrico-forestal, también se llevan a cabo actuaciones a medio plazo (de 1 a 3 años), orientadas a la realización de tratamientos silvícolas (podas, desbroces, o a misma eliminación de los restos de la quema) con objeto de facilitar la regeneración vegetal.

1.2. Historia de incendios en España.

Debido a la situación geográfica, España se sitúa como uno de los países europeos con más incendios forestales. En los cuarenta años se han registrado más de 300.000 sucesos, con una superficie forestal afectada total de 5.900 km² o 5.880.000 hectáreas (Álvarez, 2001). La evolución temporal presenta una tendencia creciente, tanto en hectáreas como en sucesos, en los años sesenta la superficie afectada por el fuego era de 430.104 has, desde entonces se ha ido multiplicando a partir de 1,6; esta tendencia ha sido significativa a partir de 1978 marcando un antes y un después en los incendios forestales, llegándose a calcinar 434.867 has, viéndose superado solo en dos años desde entonces, en 1985 y en 1994.

Un acontecimiento que marcó un punto de inflexión fue el éxodo rural masivo que sufrió España entre los años 50 y 60, antes usado como herramienta el fuego pasó a

ser uno de los mayores problemas medioambientales; esto es debido al abandono de tierras y de repoblaciones forestales, lo que ha generado grandes áreas de vegetación consecutiva y uniforme, lo que ayuda a propagar el número de incendios. Un punto crítico son las poblaciones creadas y unidas a las zonas agrícolas, debido que posee un peligro real a la hora de los incendios debido a las herbáceas generadas en estos campos y que ya se observan en las zonas más cercanas los domicilios de ciertos pueblos.

Otra clave para entender la situación actual en cuanto a los incendios son los bajos precios de los productos agrícolas y el cambio generacional, lo que ha generado que incluso en zonas de regadío se abandonen los campos. En estos la vegetación crece de forma muy rápida, especialmente las herbáceas debido a que son suelos fértiles que han recibido un abonado constante. A parte de los cambios socioeconómicos, los incendios se han visto impulsados por las condiciones climáticas que favorecen estos acontecimientos. Nos encontramos en una etapa interglaciar cálida alargada por el “cambio climático” generado y ayudado antrópicamente; este clima cálido genera o aumenta los periodos de sequía y aumenta las temperaturas, lo que alarga de forma inequívoca la estación natural de incendios.

1.3 Incendio de Aliaga-Ejulve (2009)

El día 22 de julio de 2009 se tienen unas condiciones perfectas en la provincia de Teruel mediante las que se generó el incendio el cual se estudia en este trabajo; se dieron las condiciones de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento que daban por hecho una gran posibilidad o un riesgo degenerarse este incendio forestal. Sobre el medio día del día 22 de julio se dieron unas temperaturas de cerca de 27 °C, una humedad relativa de entorno del 30% y había un viento dominante del S-SW de entre 50 y 100 km/h; si esto nos sumamos a que nos encontrábamos en una situación de estación seca las probabilidades eran aún mayores.

Durante la tarde y la noche de ese día la provincia se encontraba en alerta naranja por altas temperaturas y rachas de viento, esto sumado a la tormenta seca que se encontraba sobre el área de estudio; estas circunstancias añadidas a las causas antrópicas, es decir, la lenta reacción de los medios de extinción de incendios, generaron la rapidez con la que el incendio arrasó las primeras 7.000 has (cerca de

7.300 has) en las primeras 48 horas generando una situación muy difícil de controlar y de extinguir (Pina, 2017)

Este incendio forestal afectó principalmente a los términos municipales de Aliaga, Cañizar del Olivar, Castel de cabra, Ejulve, La Zoma y Villarluego. Todos ellos situados en las comarcas de cuencas mineras, Andorra-Sierra de Arcos y Maestrazgo. Algunos términos municipales sufrieron más daños que otros siendo excepcional el caso de La Zoma que vio calcinado más del 68% de su territorio.

Las consecuencias del fuego fueron amplias para varias poblaciones, afectando en gran medida a los bosques de pino y carrasca. Un punto importante fue la pérdida socioeconómica que tuvo este incendio debido a que afectó al patrimonio natural así como a las explotaciones agrícolas y al sector turístico.

1.4 La teledetección aplicada al análisis de la vegetación.

El Instituto Geográfico Nacional (IGN) define la teledetección como: “La teledetección es la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. La interacción electromagnética entre el terreno y el sensor genera una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable de la Tierra.” (IGN, sf)

De la misma manera se puede definir como “Aquella técnica que nos permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre. Para que esta observación sea posible, es preciso que entre los objetos y el sensor exista algún tipo de interacción.” (Chuvieco, 1995)

En cuanto a la vegetación se refiere, conforma uno de los componentes más vitales del medio físico siendo un recurso con un valor intrínseco incomparable, aparte de esto la propia vegetación es decisiva a la hora del mantenimiento de los recursos naturales tales como son la fauna, el suelo o el paisaje. Mediante la creación de un análisis multi temporal con imágenes de satélite se puede generar un estudio de la evolución de diferentes comunidades vegetales así como el seguimiento de actividades antrópicas como pueden ser los cultivos.

Los llamados índices de vegetación son las diferentes combinaciones de las bandas espectrales registradas por los satélites siendo su función principal el realzar la cubierta vegetal conforme reaccionen al análisis espectral, atenuando.

En cuanto a las propiedades biofísicas las que permiten caracterizar los tipos de hábitats así como generar un estudio específico sobre áreas pre y post incendio se puede hablar de el FAPAR (fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) y el NBR (Normalized Calcination Index).

El NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) es el índice principal usado para el seguimiento global de la vegetación dado ayuda a compensar los factores externos a las imágenes satelitales. Se podría definir como un indicador simple de vegetación fotosintéticamente activa, mostrando y definiendo las áreas con vegetación y sus procesos de crecimiento. Se muestra comparando la cantidad de luz roja visible absorbida y la luz infrarroja cercana reflejada. Los resultados de este varían entre -1 a 1, normalmente los valores de -1 a 0 se interpretan como vegetación muerta, los valores de 0 a 0,33 como vegetación enferma, los valores de 0,33 a 0,66 como vegetación semi sana, y los valores de 0,66 a 1 como vegetación muy sana.

El NBR (Normalized Burn Ratio) es una de las vías con las que podremos evaluar los daños forestales o analizar la evolución de la regeneración de la vegetación tras un incendio, Mostrando valores comprendidos entre -1 y 1. La firma espectral de la vegetación sana muestra elevados niveles de reflectividad en el NIR descendiendo hacia el SWIR, mientras que la vegetación afectada por el fuego genera un comportamiento opuesto tanto en el NIR como en el SWIR en los frentes del incendio; cuanto más próxima se encuentran las firmas espectrales menor severidad poseerá el incendio y viceversa (Gisandbeers, 2018).

1.5 Actuaciones post-incendio

Tras los episodios de fuegos es recomendable adoptar medidas de protección del suelo. Normalmente dichas medidas se desarrollan en una secuencia temporal definida, dividiéndose entre medidas inmediatas, a corto, medio y largo plazo. El

objetivo de estas es evitar la pérdida del suelo y la contaminación de hábitats acuáticos (González-Prieto et al, 2018).

El tiempo de recuperación de la totalidad de las propiedades del suelo suele tardar entre 1 y 5 años en condiciones favorables, sin embargo en los casos desfavorables pueden no llegarse a recuperar. Con el objetivo de una rápida recuperación vegetal se pueden llevar a cabo una serie de técnicas de recuperación de suelos post incendio (González-Prieto, Serafín, et al, 2018):

- Implantación de una cubierta vegetal temporal, sembrando especies de leguminosas y gramíneas, a modo de generar una rápida estructura del suelo.
- Inoculación de microorganismos a modo de promover el desarrollo vegetal aportando nutrientes.
- Distribución de paja, corteza o astillas, distribuyendo a su vez troncos de árboles, ramas y restos de poda a modo de frenar la escorrentía y el arrastre de materiales en suelos muy susceptibles a la erosión.

Sin embargo si el objetivo es meramente frenar la erosión post-incendio, así como evitar las alteraciones de los recursos hídricos y evitar la contaminación de las aguas (superficiales y subterráneas) se pueden considerar las siguientes consideraciones extraídas de una consulta realizada en: Efectos de los Incendios Forestales sobre los Suelos; <http://fuegored.weebly.com/>

- Las actuaciones deben de estar consensuadas entre las entidades y personas afectadas antes de ser realizadas.
- Dichas actuaciones solo tienen que ser realizadas en las zonas que sean necesario, contemplando la regeneración natural. Para ello se deben de tener en cuenta la superficie afectada, la severidad del fuego, el tipo del suelo o la pendiente y orientación de las laderas.
- Las medidas tienen que ser contempladas como mínimo actuaciones antes de la llegada de las primeras lluvias.
- Dar prioridad a los espacios fluviales y los recursos hídricos debido a su gran fragilidad.
- Se recomienda que las administraciones públicas incluyan en sus presupuestos la aplicación de las medidas de emergencia para así poder aplicarlas inmediatamente después al fuego.

- La continuidad de las medidas, con el objetivo de proteger el ámbito socioeconómico.
- Las medidas de actuación de emergencia para la protección de suelo contra la erosión post-incendio iniciadas en algunas comunidades autónomas son ya el resultado de la colaboración entre científicos y gestores. En su conjunto han sido actuaciones valoradas positivamente, por lo que se recomienda seguir en esta línea de trabajo.
- Mantener el intercambio de experiencia entre las zonas afectadas para de este modo generar una gestión sostenible más efectiva a lo largo del tiempo.
-

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es diagnosticar los niveles de regenerado en zonas en las que se han aplicado diferentes tratamientos post-incendio, concretamente sobre las actuaciones distribuidas en el incendio de Aliaga-Ejulve de 2009 (Teruel, España). Como objetivos secundarios se plantea: (1) la evaluación de la regeneración vegetal en el tiempo mediante dos índices espectrales, NBR y NDVI; y (2) valorar la ventajas de la teledetección en el análisis de los niveles de regenerado en zonas quemadas tratadas desde el punto de vista hidrológico-forestal.

3. Área de estudio y caracterización geográfica

La **figura 1** recoge la localización del área de estudio que se corresponde esencialmente con la superficie calcinada en el incendio de Aliaga-Ejulve de 2009. Se sitúa entre tres comarcas, Cuencas mineras, Andorra-Sierra de Arcos y el Maestrazgo, en la parte inferior de la provincia de Teruel y al sureste de la comunidad autónoma de Aragón.

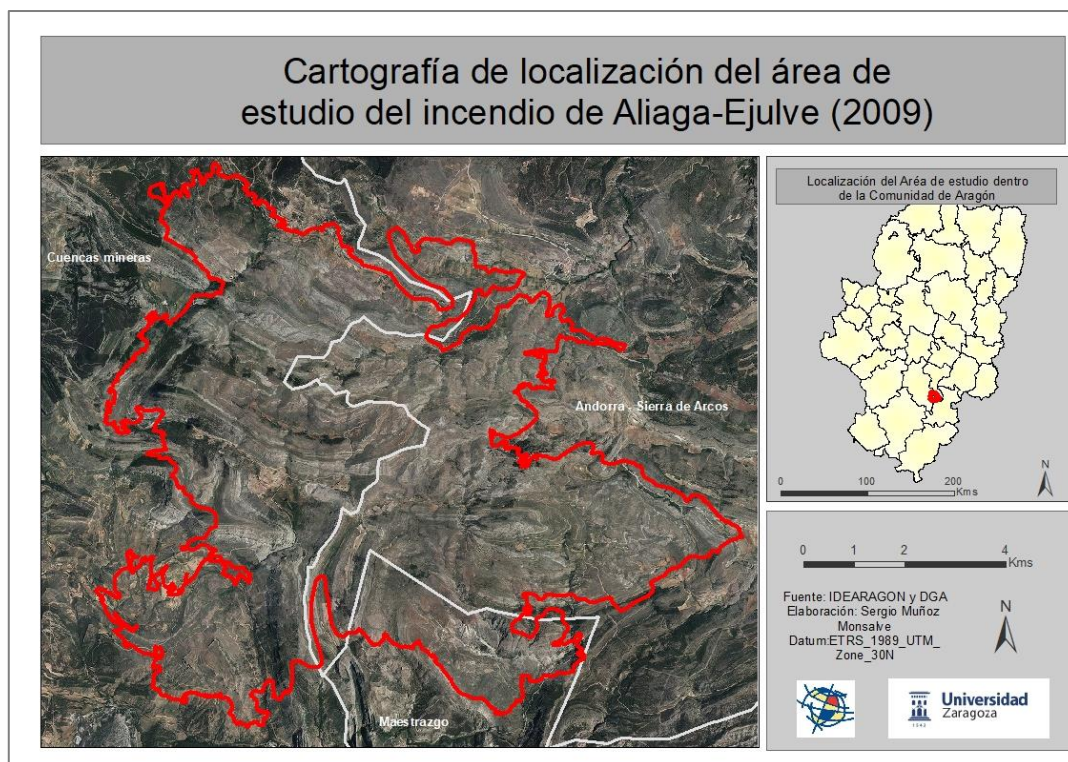


Figura 1. Localización sobre una ortofotografía del área de estudio en la zona entre Ejolve y Aliaga.

3.1 Relieve

Las principales unidades que se pueden englobar en el área de estudio son las siguientes:

- El sistema ibérico, siendo un conjunto de alineaciones montañosas con orientación NO-SE, extendiéndose desde la zona próxima a Burgos (La Bureba) hasta el litoral mediterráneo de Valencia; abarcando más de 500 km.
- El sistema ibérico en la vertiente aragonesa se divide en dos zonas paralelas separadas por la cuenca de Calatayud (según el IGN). Este no posee ni la continuidad ni el empuje orogénico de los relieves propios de las cordilleras pirenaicas o Béticas, pues representa el reborde de la Meseta fracturada, con un pasado que muestra una zona con un gran registro de subsidencia diferencial asociado a distintas etapas de *rifting*.
- No se sobrepasan los 2.000 metros en ninguna zona del área de estudio, existiendo una altura relativamente de valores similares.

La zona de estudio se engloba dentro del periodo Mesozoico, siendo los materiales pertenecientes a las edades del Jurásico y Cretácico. Esto se puede observar en la **figura 2**. Se sitúa en la rama aragonesa de la Cordillera Ibérica y el Maestrazgo turolense, presentando un relieve muy accidentado que se remonta a hace 200 millones de años.

Mediante la erosión activa y las corrientes fluviales se ha ido modelando la zona hasta lo que podemos observar hoy en día.

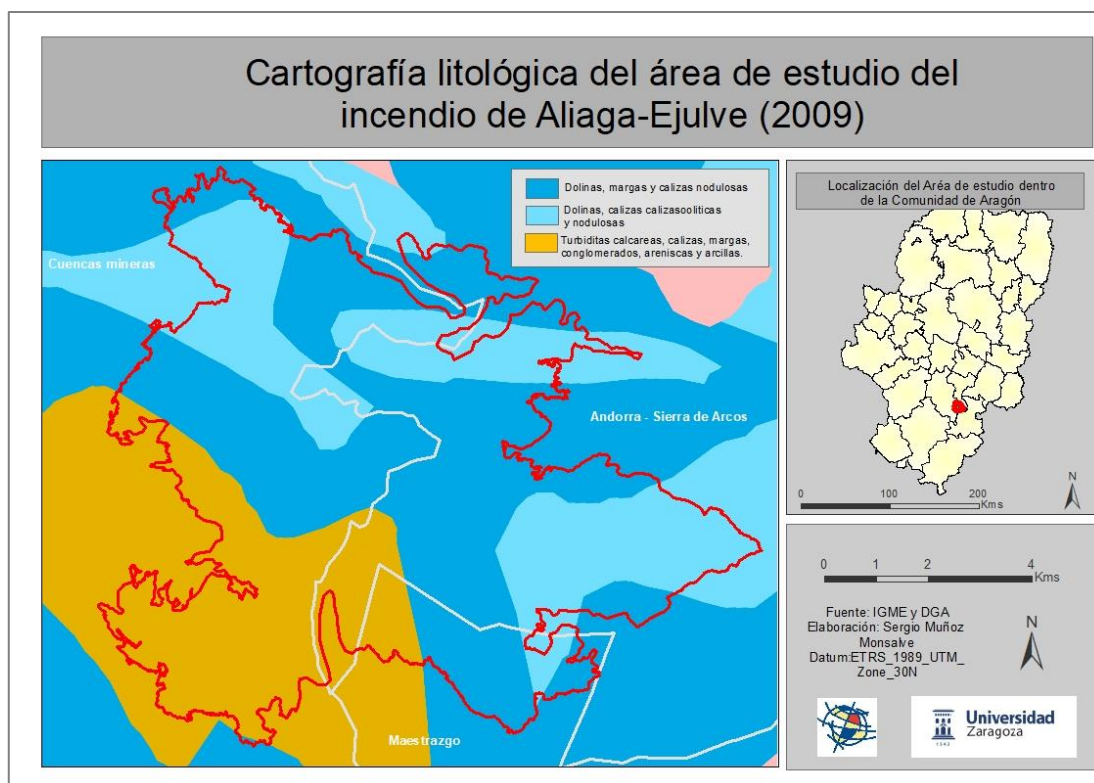


Figura 2. Cartografía litológica de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia

3.2 Clima

A modo introductorio cabe resaltar que Aragón es un claro ejemplo de territorio con precipitaciones escasas en la mayoría de su territorio, salvando la zona de los Pirineos y en el Sistema Ibérico, marcando un reparto claramente orientado hacia el relieve, favoreciendo pues las precipitaciones en zonas altamente orográficas. El promedio anual de lluvias no suele alcanzar los 400 mm, destacando los 369 mm de Teruel.

Para demostrar esto se pone como ejemplo el climograma de Ejulve, el cual se puede observar en la **figura 5**, en la que se puede observar que las precipitaciones se alargan a lo largo del año, teniendo la zona una precipitación media de alrededor de 527mm anuales (comparando los climogramas de Ejulve y Aliaga).

El clima de la zona se clasifica como Cfb (marítimo de costa occidental u oceánico templado) según la clasificación de *Köppen*; estos climas se caracterizan por

tener veranos relativamente frescos, con precipitaciones abundantes y bien repartidas durante todo el año, con temperaturas medias del mes más frío entre -3°C y 18°C , y una temperatura media del mes más cálido de 10°C .

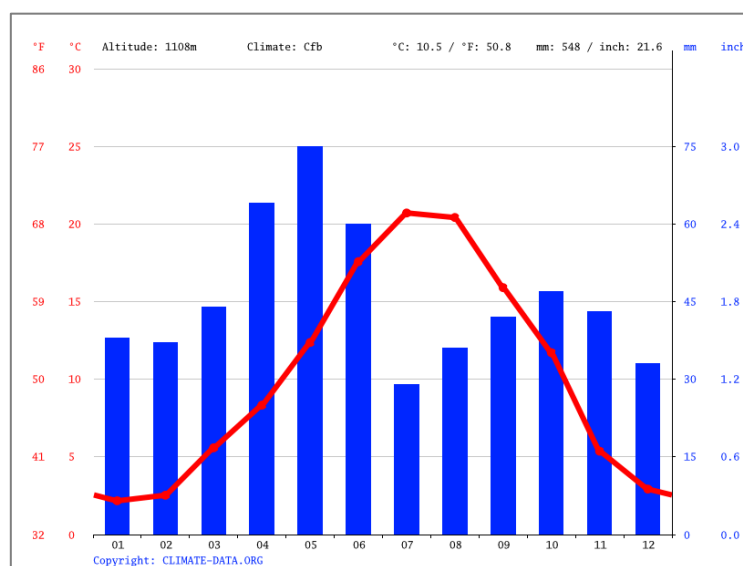


Figura 5. Climograma del municipio de Ejulve. Elaboración y Fuente: *Climate Data.Org*

Otro factor por tratar para caracterizar el clima de la zona es la aridez, en este caso la aridez está relacionada tanto con las precipitaciones como con las temperaturas, generando un mayor o menor grado de aridez dependiendo del conjunto de estos dos factores. Mediante el índice propuesto por la UNEP (United Nations Environment Program) se puede observar que el 70% del territorio aragonés se sitúa dentro del rango de semiárido. Cabe destacar que el área de estudio se sitúa dentro de un 14% categorizado como subhúmedo seco, situándose dentro de este rango los espacios de piedemonte de ambas cordilleras y las sierras y depresiones ibéricas.

3.3 Caracterización vegetal

La vegetación de la comarca en la que se encuentra Ejulve está caracterizada por el bosque mixtos de pino carrasco (*Pinus halepensis*) y coscoja (*Quercus coccifera*) representando así la gran mayoría de la propia comarca de Andorra-Sierra de arcós. En la composición de estos bosques también podemos encontrar pino laricio (*Pinus nigra*). También podemos encontrar bosques de encinas o de carrascas (*Quercus ilex*), así como quejigos (*Quercus faginea*) o rebollos (*Quercus pyrenaica*) como es el caso del barranco del muro de Ejulve. En cuanto a vegetación de matorral cabe destacar que están extendidos por la gran mayoría de la comarca componiéndose en gran medida

por romeros y aliagas, encontrándose también tomillos, salvias, espliegos y ajedreas, estando de estas últimas asociadas a suelos ácidos; también se pueden llegar a encontrar erizones (*Erinacea anthyllis*) frecuentes en el sur de la comarca.

En el caso de Aliaga se pueden encontrar bosques autóctonos de carrascales (*Quercus ilex*) y rebollares (*Quercus Pirenaica*). Así como en el caso de Aliaga se pueden encontrar bosques frondosos de pinares los cuales han sido fuertemente controlados y poblados antrópica mente, en las zonas altas de la Sierra de Aliaga abunda el pino silvestre (*Pinus sylvestris*) y en alturas menores se puede llegar a encontrar el pino (*Pinus nigra*); Haciendo apariciones esporádicas se pueden llegar a ver la Sabina albar (*Juniperus thurifera*) y enebros (*Juniperus communis*), acompañado de estas manchas y tapizando del suelo aparece la gayuba (*Arctostaphylos uva-ursi*). En cuanto a vegetación arbustiva y de matorral aparecen especies como las aliagas negras, el espliego, la salvia, la ajedrea y el tomillo, llegando a aparecer también el característico erizones (*Erinacea anthyllis*)

Para poder proteger todas estas zonas se crea la Red Natura 2000, mediante la directiva 92/43/CE relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y la flora silvestres en 1992; dicha red está formada por las Zonas Especiales de Conservación (ZEC) y por los Lugares de Importancia Comunitaria (LIC). A fecha de 2017 en la Red Natura 2000 en Europa cuenta con 27.522 espacios sumando Lic y zepa que ocupan una superficie de más de 1.148.000 km² de la superficie terrestre de la Unión Europea, lo cual representa un 18% del total.

3.4 Marco Socioeconómico

El medio rural español, como es el caso del área de estudio, ha presentado desde 1900 un descenso de población significativo, viéndose gravemente afectado a partir del año 1991. Mediante la pérdida de importancia del sector agrícola como principal sector de empleo se generó un movimiento migratorio a las principales ciudades, en este caso hacia Teruel o Zaragoza.

En la **figura 6** se observa que hay ciertos repuntes de población, como es el caso de 1998, debido a la llegada de inmigrantes. Pese a la creciente tendencia de movimientos de población joven que vuelven a los núcleos rurales, no se aprecia una subida en los datos poblacionales, lo cual puede ser originado por la gran cantidad de población envejecida y la baja tasa de nacimientos.

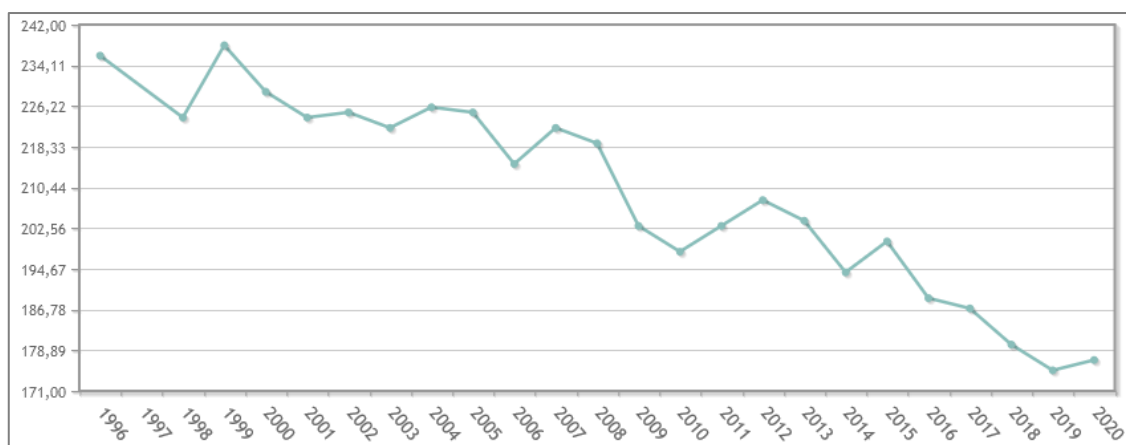


Figura 6. Población del municipio de Ejulve distribuido en el tiempo. Fuente: INE

En el caso de Aliaga se posee una mayor población pero se observa que esta también ha presentado un descenso continuo desde 1996, como se observa en la **figura 7**. Presenta una estructura de población, como en el caso de Ejulve, envejecida y con poco relevo generacional, como resultado de la fuerte pérdida de población que se sufrió en la segunda mitad del siglo XX. Tanto en Ejulve como en Aliaga se trabaja activamente para poder revitalizar la estructura demográfica atrayendo mediante ayudas u ofertas de empleo a generaciones nuevas.

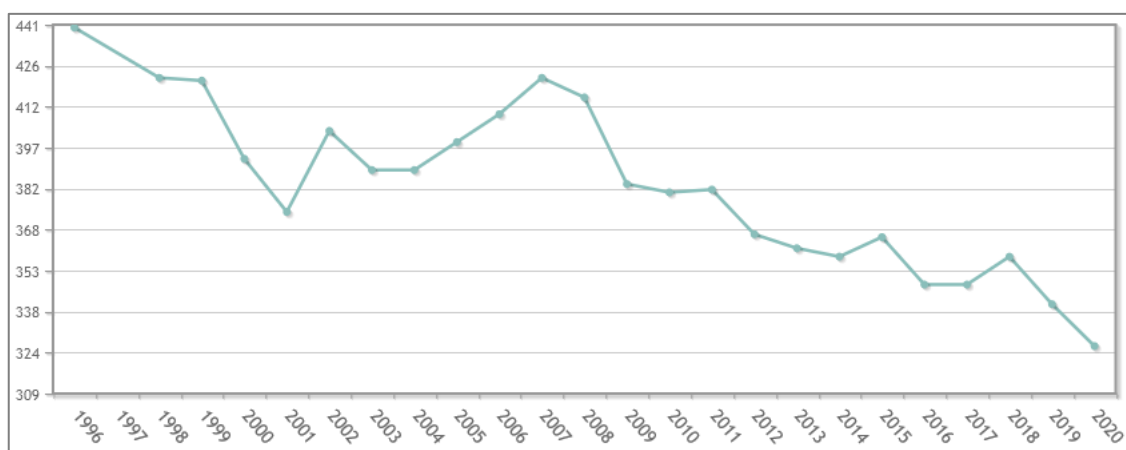


Figura 7. Población del municipio de Aliaga distribuido en el tiempo. Fuente: INE

La actividad económica de la zona de estudio ha sido históricamente enfocada a las actividades de carácter primario, como las explotaciones mineras o el sector agropecuario (cultivo de cereales, ganadería ovina, porcina o caprina). Pese a no contar con extensos recursos, dicha área ha trabajado con explotaciones de carbón y hasta el 2020 se vinculó a la unión del sector energético y minero. Pese a esto el sector servicios ha crecido de manera exponencial en los últimos años, destacando las actividades de

turismo rural debido a que se encuentra muy cerca del Maestrazgo. Otro punto por destacar es el gran desarrollo que ha tenido dentro de este sector las viviendas de turismo rural, generando una llegada extra de población en ciertas épocas del año.

4. Materiales y Metodología

En este apartado se recoge todo lo referente a las diferentes fases empleadas para obtener los objetivos propuestos y los materiales utilizados.

4.1 Materiales

4.1.1 Información cartográfica del incendio de Aliaga-Ejulse (2009)

El Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, del Servicio Provincial de Teruel (Gobierno de Aragón), facilitó toda la información relacionada con actuaciones de restauración, aprovechamientos forestales y control hidrológico forestal correspondiente al incendio de Aliaga-Ejulse (2009). A continuación, se recoge la información facilitada que ha sido usada en formato digital:

- Perímetro Aliaga-Ejulse: Capa descargada de los materiales proporcionado por la DGA, usada como base para todos los procesos posteriores de tratamiento de los datos. Utilizada posteriormente a su vez como polígono base para la descarga de las imágenes Landsat-5 mediante la web EO Browser.

- Rodales_final: Capa descargada de los materiales proporcionado por la DGA, usada para el tratamiento de datos de NBR y NDVI mediante los programas estadísticos Excel y XLSTAT. Para su uso ha sido necesario la proyección de esta capa al sistema de coordenadas ETRS_1989_UTM_Zone_30N, creando una nueva capa llamada rodales_final_projctc. Esta posee los diferentes tipos de tratamientos necesarios para el trabajo, los cuales son:

- Apeo, Saca y construcción de Fajinas
- Apeo, Saca y Eliminación de restos
- Astillado en pie, Densidad Baja
- Astillado en pie, Densidad Normal

- Cuadrillas final: Capa descargada de los materiales proporcionados por la DGA, usada directamente como estudio temporal de los diferentes trabajos realizados en el

área del incendio. Cabe destacar el uso de la herramienta *Clip* para escoger únicamente los datos referentes al incendio de Aliaga-Ejulve (2009).

-Plano restauración aliaga a escala 25.000: Imagen descargada de los materiales proporcionados por la DGA, en la que se expone de forma ya analizada los tipos de trabajos realizados en el incendio de Aliaga-Ejulve (2009).

También se ha descargado información prestada por la DGA que no ha sido usada, pero que es de relevancia, debido a que no resulta crucial para este trabajo, situándose en su mayoría fuera del área del incendio. Esta información es:

- Tajo cuadrilla 13_2011: Capa relacionada con los trabajos realizados de reconstrucción en la parte inferior del polígono.

- Carretera: Capa relacionada con los trabajos de Apeo y astillado bordes de carreta extraídos del trabajo. Su único campo es la longitud de la línea generada.

- Lotes aprovechamiento/acordonado: Capas descargadas las cuales contienen lotes de has tratadas dentro del área del incendio pero que carecen de interés para este trabajo.

- Perímetro incendio Corbalán (2009): Capa descargada de los datos aportados por la DGA, la cual presenta el perímetro del incendio ocurrido el día 22/07/2009 en la zona de Corbalán. Junto a esta capa hay generadas otras capas de tratamiento post-incendio que no resultan de interés para el estudio realizado en este trabajo.

4.1.2. Materiales externos

La información expuesta en este apartado corresponde a los datos necesarios para poder completar las diferentes cartografías aportadas en el trabajo. Están divididos en datos ráster (como es el caso de las imágenes PNOA) y en datos vectoriales (como son las capas descargadas en formato shp, como la capa de comarcas o municipios). Se ha escogido esta información debido a que completa de forma adecuada el objetivo de añadir los datos necesarios para poder generar cartografías legibles.

- PNOA_MDT25_ETRS89_HU30_0518_LID: Capa ráster descargada del CNIG para el tratado de datos, en este caso para generar mediante el conjunto de las otras ortofotografías la capa de pendientes. Hace referencia a la zona superior de la zona de estudio.

- PNOA_MDT25_ETRS89_HU30_0519_LID: Capa ráster descargada del CNIG para el tratado de datos, en este caso para generar mediante el conjunto de las otras ortofotografías la capa de pendientes. Hace referencia a la zona superior de la zona de estudio.
- PNOA_MDT25_ETRS89_HU30_0543_LID: Capa ráster descargada del CNIG para el tratado de datos, en este caso para generar mediante el conjunto de las otras ortofotografías la capa de pendientes. Hace referencia a la zona inferior de la zona de estudio, y pese a no ser necesaria ha sido incluida para mayor precisión.
- PNOA_MDT25_ETRS89_HU30_0544_LID: Capa ráster descargada del CNIG para el tratado de datos, en este caso para generar mediante el conjunto de las otras ortofotografías la capa de pendientes. Hace referencia a la zona inferior de la zona de estudio, y pese a no ser necesaria ha sido incluida para mayor precisión.
- Basemap de ArcGIS: Mapa base del programa cartográfico ArcGIS, usado directamente desde el programa para completar el mapa de localización del área de estudio.
- T101d_comarcas: Capa descargada de Idearagon, esta hace referencia a las diferentes comarcas del territorio de la comunidad de Aragón, usada en la cartografía de localización.
- T101e_municipios: Capa descargada de Idearagon, haciendo referencia a los diferentes municipios del territorio de la comunidad de Aragón, usada en la cartografía de localización.

4.1.3 Información de imágenes satelitales

Para el estudio multitemporal de los niveles de regeneración en las zonas tratadas se han utilizado el producto *LANDSAT/LC08/C01/T1_32DAY_TOA* descargado automáticamente mediante un scripts en GEE.

Para poder realizar este estudio ha sido necesario la utilización de imágenes de satélite de diferentes momentos dentro del mismo año, en este caso de las siguientes fechas: 22/06/2009 y 26/09/2009, para poder analizar la distribución espacial de la severidad del fuego.

- Script en GEE: Acorde al tutor de este trabajo: *La extracción de los datos de reflectividad de las orto-imágenes (UTM/WGS84) del producto “LANDSAT/LC08/C01/T1_32DAY_TOA”, correspondiente al periodo de estudio, se ha realizado mediante Google Earth Engine. Este producto está generado a partir de escenas orto-rectificadas TIER 1, utilizando la reflectividad calculada a techo de la atmósfera (TOA), véase Chander et al. (2009). En concreto se utilizan todas las escenas disponibles en períodos de 32 días a partir del primer día del año y continuando hasta el día 352.*

4.2 Metodología

4.2.1 Tratamiento de las imágenes y análisis de severidad

A modo de aligerar la carga de trabajo se optó por descargar las imágenes directamente en la aplicación ArcGIS, el cual ha servido tanto para el tratamiento de datos cartográficos como para el tratamiento de estas imágenes. Mediante este programa se ha podido realizar la cartografía de NBR de forma efectiva y completa en un tiempo más cómodo, a la vez que se puede generar en el mismo la cartografía necesaria.

Mediante este programa se han generado dos capas *SHP*, una de la imagen de junio y otra de septiembre; cada una de estas se genera uniendo mediante la herramienta *Raster Calculator* las capas 4 y 7 mediante la siguiente operación:

$$(B4-7) / (B4+B7)$$

Tras conseguir ambas capas (rt_junio y rt_septiembre) se usó de nuevo la herramienta *Raster Calculator* para de este modo conseguir la capa ΔNBR , la cual se consigue restando la capa de rt_junio a la capa de rt_septiembre, dando como resultado la capa d_nbr . Los resultados que otorga esta capa son valores comprendidos entre -1 y 1, para categorizarlo de forma óptima se ha comparado y categorizado de acuerdo a el trabajo de *Carl H.Key y Nathan C. Benson, Landscape Assessment (LA), Sampling and Analysis Methods*, en el cual se usa la información aportada sobre los valores del $dNBR$, los cuales varían en este caso de -500 a +1300; cabe destacar que los valores que no están incluidos en estos parámetros se consideran no quemados.

4.2.2 Tratamiento estadístico de los datos

Tras terminar de descargar las imágenes mediante EO Browser se ha usado el Script desarrollado por Fernando Cabello para de este modo generar automáticamente la base de datos necesaria para este trabajo.

El primer paso fue realizar una limpieza de la base de datos, así como ordenarla; ciertos campos de la base de datos correspondían a rodales correspondientes a zonas exteriores al área de estudio por lo que es necesario quitarlas de la base de datos.

Tras esto y con el programa XLSTAT se procedió a realizar el Análisis de la Varianza (ANOVA) de los índices teniendo en cuenta las dos variables (NDVI y NBR). ANOVA compara esencialmente las varianzas y las medidas de ambas variables para de este modo poder llegar a una conclusión. Una vez se obtuvieron los datos de las dos variables se produjo a su análisis.

4.2.3 Software utilizado

Para el tratamiento de las imágenes de Landsat 5 se han usado diferentes programas. El primero de estos ha sido Google Earth Engine (GEE) el cual combina un catálogo interno de imágenes de satélite con datos geoespaciales, se ha usado para poder detectar cambios y tendencias en la superficie que abarca el incendio. De esta manera se ha usado el script, el cual se puede encontrar en el **anexo 9** para poder descargar de forma automática una base de datos referente a los índices NBR y NDVI. Tras generar la base de datos en Excel se han eliminado los datos relacionados con los rodales que están fuera del área de estudio para crear los resultados reales del área del incendio. A modo de simplificar los resultados se ha optado por generar dos columnas nuevas con variables temporales: una columna de años y otra de meses.

Después de tener una base de datos legible y realista se ha trasladado al programa XLSTAT, con este se ha procedido a generar el análisis ANOVA. Los datos cualitativos son los relacionados con el NDVI, mientras que los cuantitativos son los referentes a los años y los diferentes trabajos de reconstrucción realizados. Por ultimo lo restante es estudiar los resultados que ha dado el análisis e interpretar los resultados.

Como se ha comentado con anterioridad también se ha usado el programa ArcGIS para el tratamiento de las imágenes satelitales y la extracción de los datos y cartografías referentes al NBR y dNBR.

5. Resultados

En este apartado del trabajo se van a presentar los resultados obtenidos gracias a los diferentes programas cartográficos y estadísticos usados tales como ArcGIS, Excel o XLSTAT. Cabe destacar de nuevo el script facilitado por Fernando Pérez Cabello, debido a que ha ayudado en gran medida a generar la base de datos en Excel.

5.1 Variaciones de los niveles de severidad por tratamiento hidrológico-forestal

Para el estudio visual de los datos NBR se han generado tres cartografías diferentes mediante el programa ArcGIS, en la **figura 7** se puede observar la cartografía referente a la situación pre-incendio en el área de estudio.

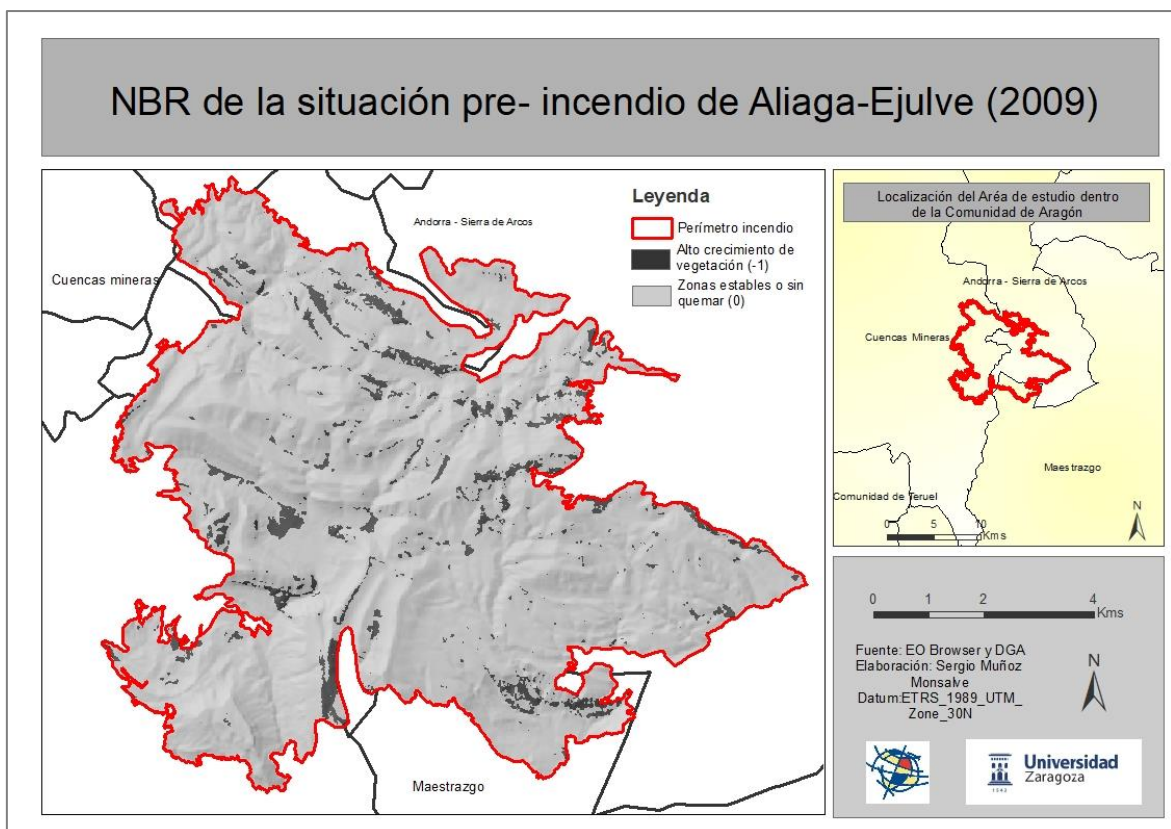


Figura 7. Cartografía NBR de la situación anterior al incendio en el área de estudio. Fuente: propia.

Cabe destacar que esta cartografía hace referencia a datos relacionados al día 22 de junio unidos con la capa de *Hillshade* con una transparencia del 80% para aportar una idea del relieve más realista; en esta se pueden observar dos categorías, la primera y siguiendo el esquema aportado por la USGS (United States Geological Survey) pertenece a zonas de alto crecimiento vegetal, aportando valores de -1; estos valores hacen referencia a zonas de vegetación con alto crecimiento activo, debidas en parte a repoblaciones de pinos o carrascas y suponen un 7% del total de la zona. La otra categoría hace referencia a áreas que no están calcinadas, la cual es una gran mayoría del terreno debido a que el fuego aún no ha estado presente en la zona, esta superficie supone un 93% del área de estudio.

En la **figura 8** sin embargo podemos observar la cartografía referente a la situación post-incendio en el área de estudio.

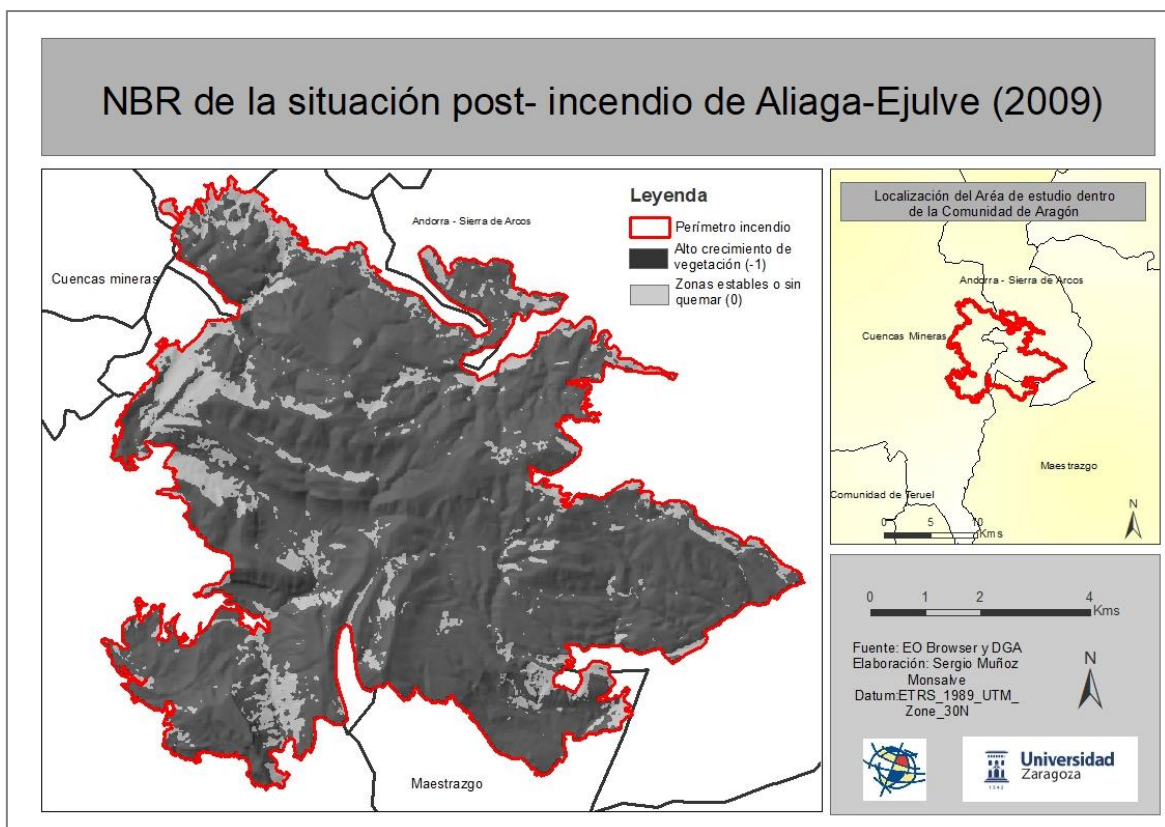


Figura 8. Cartografía NBR de la situación posterior al incendio en el área de estudio. Fuente: propia

La **figura 8** representa la distribución espacial de los datos NBR a partir de la imagen del 26/09/2009. Conviene advertir que la fecha del incendio fue dos meses antes

(22 de julio). En la cartografía anterior (Figura 7), dos categorías siguiendo el esquema de la USGS, siendo la primera en color verde las áreas de alto crecimiento de vegetación, hace referencia pues a las áreas que van a poseer una recuperación vegetal alta con el paso del tiempo debido en parte a la deposición de nutrientes en el suelo, como se ha mencionado en apartados anteriores; esta categoría ocupa 84% de la superficie total de la cartografía, siendo el 16% restante la categoría relacionada con las zonas estables o sin quemar. Tras realizar estas dos cartografías se generó la cartografía final sobre la distribución de la severidad mediante el dNBR (Figura 9) de acuerdo con los umbrales descritos en Key and Benson (2006).

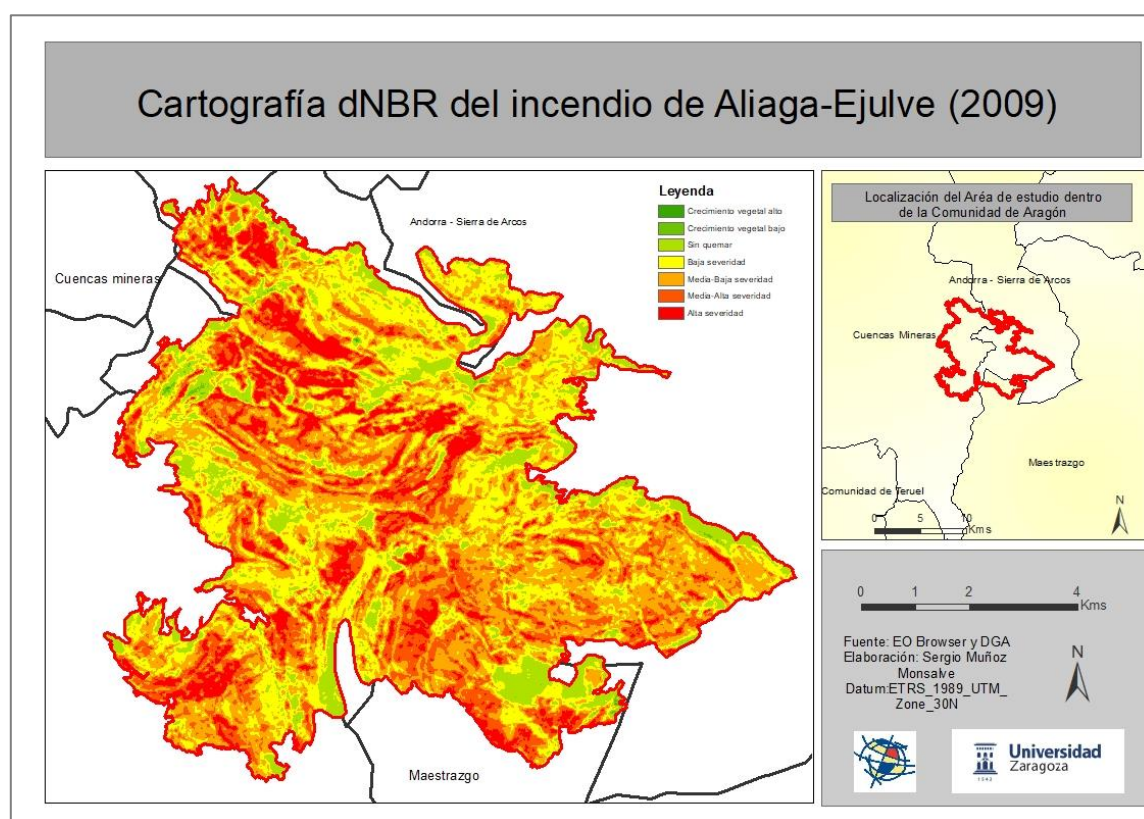


Figura 9. Cartografía dNBR del incendio de Aliaga. Fuente: propia.

En la **Figura 9** se observa que el incendio tuvo una gran severidad en casi toda el área de estudio. Se aprecia que los valores predominantes son las zonas de baja severidad, seguidas por las zonas de media y alta severidad, constatando la gravedad de este fuego y mostrando una distribución homogénea de estos valores a lo largo de toda el área de estudio. También se han identificado zonas no quemadas (22% de la superficie) y ciertas zonas con anomalías radiométricas, posiblemente debido a errores del propio sensor (Landsat-5), o derivados de la propia cubierta del suelo. No se asumen que la causa esté

relacionada con la presencia puntual de nubes ya que se revisaron y seleccionaron exclusivamente imágenes sin presencia de nubes.

5.2 Caracterización física de las zonas tratadas con medidas de restauración

Tras la obtención de las series multitemporales de datos de NDVI por tipos de tratamientos, se presentan los resultados de los análisis estadísticos aplicados. Como se observa en la **figura 10** los diferentes tratamientos aplicados en el área de estudio tienen consecuencias en la distribución de los valores de NDVI promedios de la serie temporal. Los tratamientos que implican la realización de apeos de los árboles afectados como norma general presentan valores NDVI más altos que los trabajos en los que se aplica el astillado en pie, encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre estos tipos ($F = ; p\text{-value} < 0.05$).

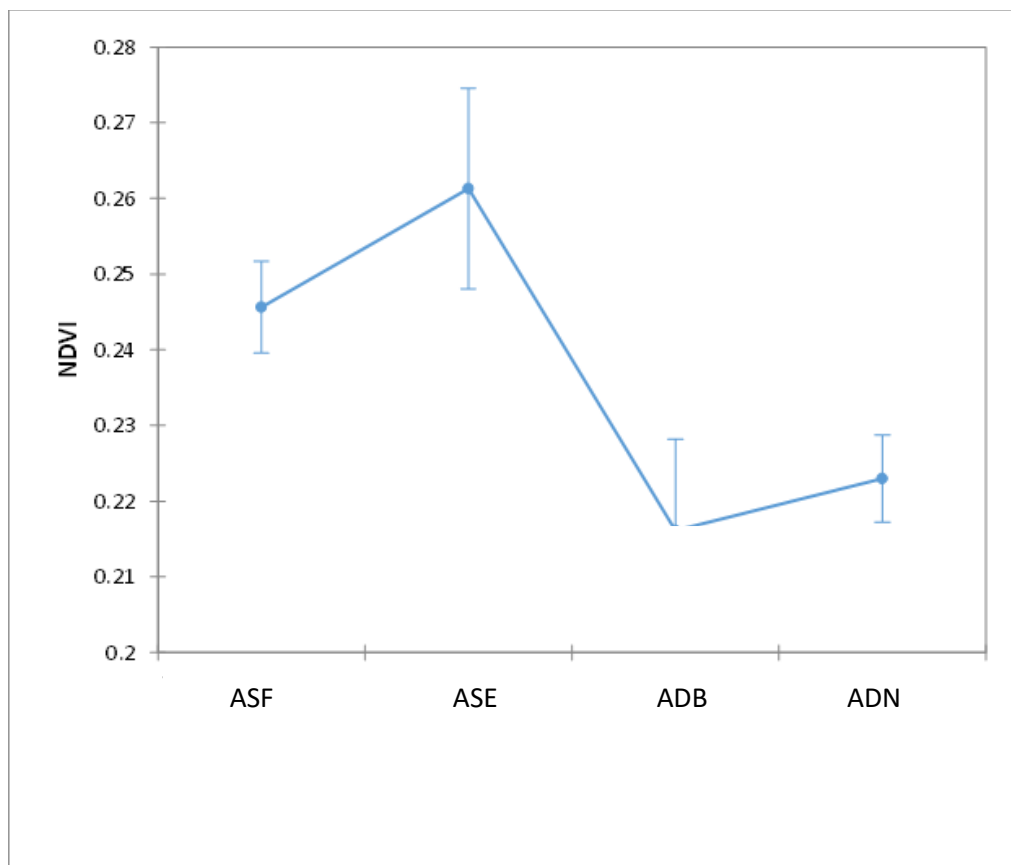


Figura 10. Distribución de los valores medios de NDVI y niveles de confianza (95%) por tipos de actuación postincendio. (ASF: Apeo, Saca y construcción de Fajinas; ASE: Apeo, Saca y Eliminación de restos; ADB: Astillado en pie, Densidad Baja; ADN: Astillado en pie, Densidad Normal)

En cualquier caso, a pesar de las diferencias entre los dos tipos de tratamientos, los valores medios de unos y otros son en general bajos y próximos entre sí (entre medias de 0,261 y 0,216), ligeramente superiores al límite que describe los suelos sin vegetación ($\sim <0,2$).

Mediante la tabla observada en la **figura 10** se aprecia que como termino general toda la vegetación que hay en la zona se sitúa entre valores de 0-0.33 lo que engloba la vegetación enferma o terrenos con baja cobertura vegetal, representando arbustos o praderas. Las diferencias entre los tipos de trabajos son significativas, pero pese a esto todos los trabajos antrópicos han generado unos valores relativamente similares.

5.3 Evolución temporal de los valores de NDVI por tipo de tratamiento

Otro aspecto importante es describir cómo se ha producido la evolución de los valores de NDVI a lo largo del tiempo. Como se puede observar en la **figura 11** los valores presentan una tendencia positiva y constante desde 2014 hasta 2019, con la excepción del año 2017 debido probablemente a errores en el proceso de extracción de la información satelital o por los efectos de fenómenos de sequía. El valor más bajo es el año 2014, con un NDVI de 0,170, siendo el valor más alto de 0,294 en el año 2019.

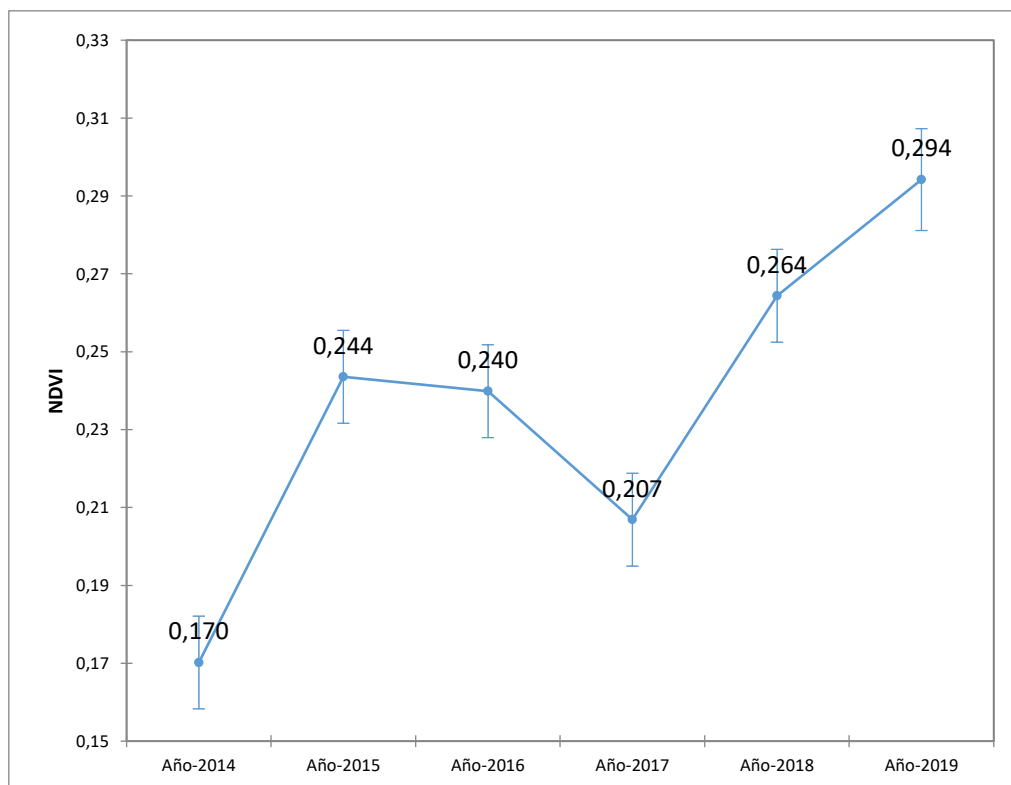


Figura 11. Valores NDVI en relación con los años estudiados.

La evolución temporal de los valores de NDVI por tipo de tratamiento (Figura 12) proporcionan una visión general del diferente comportamiento que muestra cada una de las actuaciones; la relación de estas dos variables da como finalización que los valores NDVI aumentan significativamente cuanto más antrópico es el trabajo realizado en el rodal en la zona de estudio; se puede advertir que los valores en la **figura 12** se invierten en el periodo de tiempo de 2014 a 2015 debido a que la actuación antrópica de reconstrucción tras el incendio empieza en el año 2015; se observa que la línea azul, siendo la más antrópica, pasa a poseer los valores más altos mientras que la línea verde/morada, siendo las que poseen menos impacto humano, acaban siendo las que menos valor NDVI poseen.

Contrariamente a lo que se podría pensar, los tratamientos más agresivos (ASF y ASE) son los que recogen valores más altos de NDVI en todos los años excepto el primero de la serie, debido a que los trabajos de recuperación dieron comienzo en el año 2015. Se aprecia que pese a ser significativos, los datos NDVI se sitúan como norma general en valores que indican una vegetación dispersa o enferma.

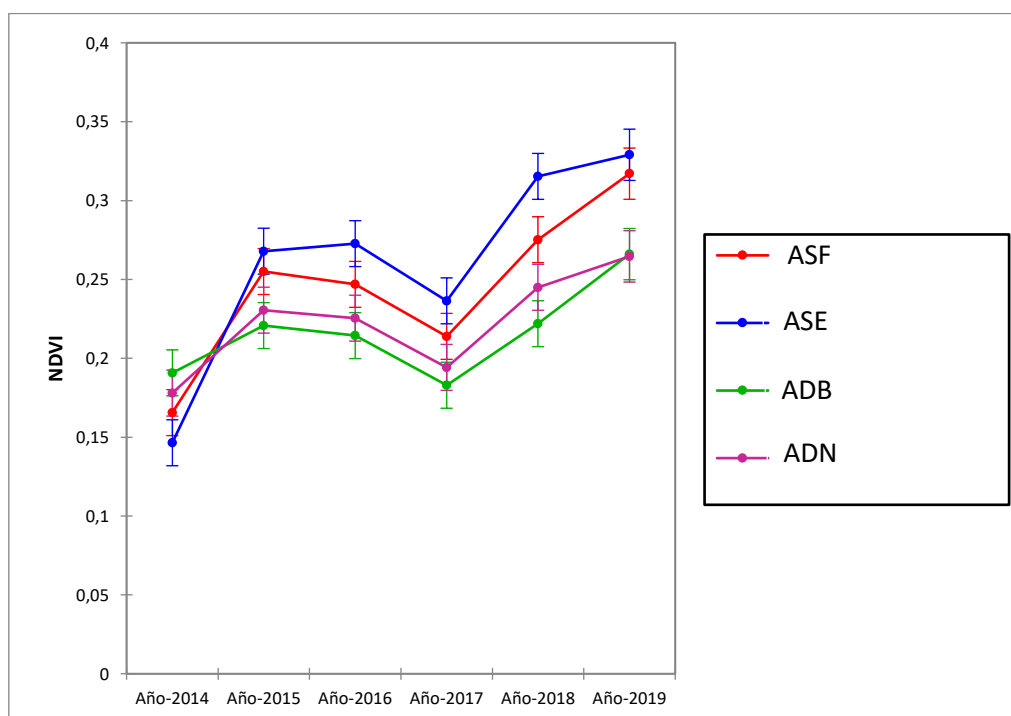


Figura 12. Comparación de los valores NDVI con la variable temporal. (ASF: Apeo, Saca y construcción de Fajinas; ASE: Apeo, Saca y Eliminación de restos; ADB: Astillado en pie, Densidad Baja; ADN: Astillado en pie, Densidad Normal)

Sin embargo los valores unidos a los trabajos de apeo, saca y construcción de fajinas (ASF) sobrepasan el valor de 0.33 que separa la vegetación enferma de la medianamente sana, lo cual indica una vez más la diferencia de los trabajos antrópicos frente a los naturales.

Siendo estos datos resolutivos cabe la duda de si los resultados seguirán siendo así a lo largo de una serie temporal más larga, poniendo en duda si los tratamientos antrópicos son solo efectivos a corto plazo. Es probable que mediante métodos de reconstrucción menos invasivos por parte humana los valores NDVI superen a los antrópicos a lo largo de una serie indeterminada de tiempo.

La comparación por pares (**Figura 13**) permite identificar que las diferencias no son significativas ($Pr < Diff$) en los casos en los que se comparan entre trabajos de apeo, saca y eliminación de restos (ASE) contra apeo, saca y construcción de fajinas (ASJ) y entre los astillados en pie, densidad normal (ADN) contra astillado en pie, densidad baja (ADB). Se aprecia que solo dos de los resultados son no significativos, teniendo pues un $Pr > Diff$ mayor a 0.001, cabe destacar que ambos poseen valores altos, siendo el máximo el valor de los trabajos ADB-ADN con un Pr de 0.440. Se puede observar que los datos no significativos concuerdan en ambos casos cuando el trabajo es de la misma categoría, por ejemplo ASF y ASE o ADB y ADN, indicando quizá que la diferencia entre estos no es sustancial.

Contrast	Difference	ardized diffe	Critical value	Pr > Diff	Significant
ASF vs ADN	0,072	17,767	2,639	< 0.0001	Yes
ASF vs ADB	0,067	10,206	2,639	< 0.0001	Yes
ASF vs ASE	0,008	1,101	2,639	0,271	No
ASE vs ADN	0,064	9,152	2,639	< 0.0001	Yes
ASE vs ADB	0,059	6,795	2,639	< 0.0001	Yes
ADB vs ADN	0,005	0,772	2,639	0,440	No

Figura 13. Contraste de los diferentes trabajos enfrentados entre sí. (ASF: Apeo, Saca y construcción de Fajinas; ASE: Apeo, Saca y Eliminación de restos; ADB: Astillado en pie, Densidad Baja; ADN: Astillado en pie, Densidad Normal)

Mediante la comparación de los años tratados y comparándolos unos con otros se puede apreciar que de nuevo una gran mayoría de los datos son significativos, excepto en los casos de 2018 comparándolo con 2016, el caso de 2018 comparándolo con 2015 y el caso de 2015 comparándolo con 2016, como se aprecia en la **figura 14**. En estos casos

cabe destacar que los valores $Pr > Diff$ son superiores a 0.001, destacando el caso de 2015-2016, el cual es un valor de 0.666 lo cuál es una cifra muy elevada.

Contrast	Difference	ardized diffe	Critical value	Pr > Diff	Significant
2019 vs 2014	0,124	13,743	2,937	< 0.0001	Yes
2019 vs 2017	0,087	9,677	2,937	< 0.0001	Yes
2019 vs 2016	0,054	6,022	2,937	< 0.0001	Yes
2019 vs 2015	0,051	5,611	2,937	< 0.0001	Yes
2019 vs 2018	0,030	3,305	2,937	0,001	Yes
2018 vs 2014	0,094	10,954	2,937	< 0.0001	Yes
2018 vs 2017	0,057	6,686	2,937	< 0.0001	Yes
2018 vs 2016	0,025	2,851	2,937	0,004	No
2018 vs 2015	0,021	2,420	2,937	0,016	No
2015 vs 2014	0,073	8,534	2,937	< 0.0001	Yes
2015 vs 2017	0,037	4,267	2,937	< 0.0001	Yes
2015 vs 2016	0,004	0,431	2,937	0,666	No
2016 vs 2014	0,070	8,102	2,937	< 0.0001	Yes
2016 vs 2017	0,033	3,835	2,937	0,000	Yes
2017 vs 2014	0,037	4,267	2,937	< 0.0001	Yes
Modified significance level:			0,003		

Figura 14. Contraste de los datos NDVI de diferentes años. Fuente: elaboración propia.

6. Conclusiones

En este trabajo se puede apreciar que pese a lo contrariamente pensado, los métodos de reconstrucción vegetal en esta área post-incendio que más énfasis antrópica tienen son los que más han ayudado a que la vegetación crezca tras el fuego. Esto es contradictorio a lo que se puede pensar en un inicio, concretamente era parte de la hipótesis creada antes de tratar los datos, debido a que dejar que la naturaleza recupere su forma es sino lo más propio a hacer.

Se ha generado una base de datos que posee tanto los datos NBR y NDVI para su desarrollo y se ha observado que la afectación de este fuego fue mucho más severa de lo que se pensaba antes de realizarlo. Los daños principales han sido los ambientales, dejando numerosas has calcinadas pero también se ha dañado la estructura socioeconómica de la zona.

La regeneración vegetal de la zona se ha observado que está siendo lenta pero hay indicios que apuntan a que se está regenerando de forma efectiva, teniendo en cuenta la magnitud del fuego. Las actuaciones están ayudando a que la renovación vegetal sea positiva. Se puede apreciar que los trabajos antrópicos generan valores NDVI a corto plazo más positivos mientras que los trabajos que dan prioridad a actuaciones más

naturales dan resultados NDVI inferiores a corto plazo, pero es posible que a largo plazo sean mejores para el medio natural.

Cabe destacar la gran importancia de la teledetección y de los SIG para tratar la información de estos eventos, no sólo para los casos de estudio post-incendio sino también para poder recabar información pre-incendio y poder predecir los eventos o tener las herramientas necesarias para generar impactos positivos en el medio natural. Otro aspecto positivo es que una gran parte de los datos son accesibles a todo tipo de público, con el único requerimiento de generar cuentas en las webs necesarias para poder descargar las imágenes de satélite; del mismo modo los programas SIG también pueden encontrarse de manera gratuita, con la excepción del programa ArcGIS usada en este Trabajo de Fin de Grado. Esto genera una mayor facilidad para generar estudios o proyectos relacionados con actuaciones post-incendio y tener las herramientas necesarias para poder actuar.

7. Bibliografía

Álvarez Rogel, Y. (2001). Evolución histórica de los incendios forestales en España.

Nimbus: Revista de Climatología, Meteorología y Paisaje, 7, 39–50.

Ambientales, C., Mancha, C., & Grupo, T. (n.d.). *Los incendios forestales en España ante al cambio climático*. 395–405.

Bartres, N. (2019). Trabajo Fin de Grado. *Zaguan.Unizar.Es*, 2021, 0–43.

<http://zaguan.unizar.es/TAZ/EUCS/2014/14180/TAZ-TFG-2014-408.pdf>

Geogr, S., & Chuvieco, E. (1994). *I* [^]. 71998, 23–36.

Ice, G. G., Neary, D. G., & Adams, P. W. (2004). Effects of Wildfire on Processes.

Journal of Forestry, 102(September), 16–20.

incendios_forestales_espania_1990_tcm30-132549.pdf. (n.d.).

Laura, R., García, C., Arturo, D., Trejo, R., Tchikoué, H., Ismael, A., Rivas, M., &

Pérez, S. (2012). DE INCENDIOS FORESTALES EN PUEBLA , MéxICO.

Interciencia, 37, 678–683.

Mataix-Solera, J., & Cerdà, A. (2009a). Incendios forestales en España. Ecosistemas

terrestres y suelos. *Efectos de Los Incendios Forestales Sobre Los Suelos En*

España. *El Estado de La Cuestión Visto Por Los Científicos Españoles.*, April, 27–53.

Mataix-Solera, J., & Cerdà, A. (2009b). Los efectos de los incendios forestales en los suelos. Síntesis y conclusiones. Nuevos retos en la investigación y en la gestión. *Efectos de Los Incendios Forestales Sobre Los Suelos En España*, July 2015, 493–529.

Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. (2007). *Los Incendios Forestales en España. Decenio 1996-2005*. 106. http://www.mapama.gob.es/es/desarrollo-rural/estadisticas/decenio_1996_2005_tcm7-349070.pdf

Montiel, C., Gómez, J., & Herrero G. (2009). Sistemas de detección de incendios forestales en España - Dialnet. *Revista Montes*, 98, 89–95.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3067839>

Moreno, J. M. (2007). Cambio Global e Incendios Forestales: Una Visión desde España. *4ª Conferencia Internacional Sobre Incendios Forestal*, 1–22.

Riera, P., & Mogas Amorós, J. (2003). Valoración del riesgo de incendios forestales en España. *Ciudad y Territorio: Estudios Territoriales*, 135, 119–126.

Torres, J. U. (2021). *ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA FORESTAL EN EL PIRINEO CENTRAL MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN Y SIG.*

7.1 Webgrafía

Copernicus Open Access Hub: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

Eo Browser: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>

Google Earth Engine: <https://earthengine.google.com/>

Climograma Ejulve: <https://es.climate-data.org/europe/espana/aragon/ejulve-414592/>

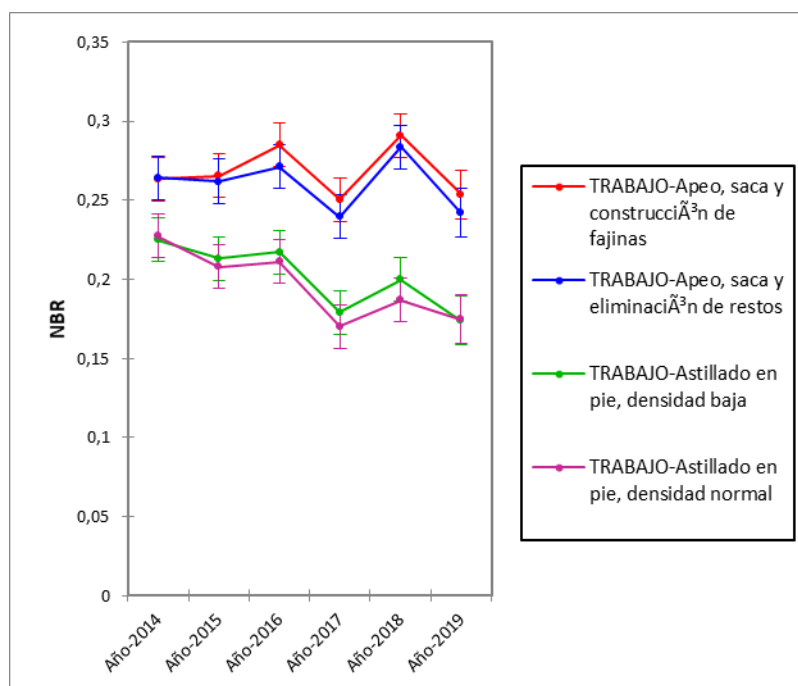
Mapa geológico:

[http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Geologicos1MMapa.aspx?Id=Geologico1000_\(1994\)&language=es](http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Geologicos1MMapa.aspx?Id=Geologico1000_(1994)&language=es)

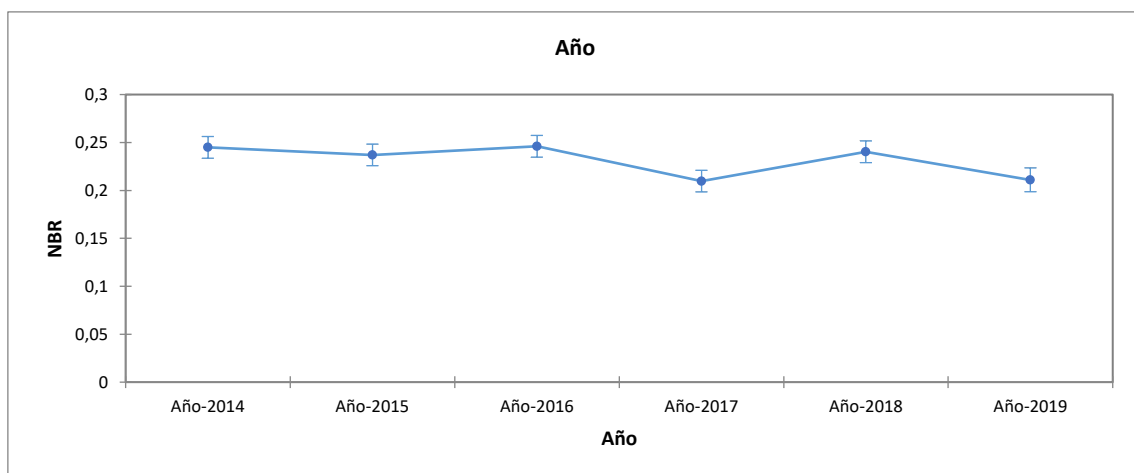
8. Anexo

Observations	4296,000
Sum of weights	4296,000
DF	4272,000
R ²	0,098
Adjusted R ²	0,093
MSE	0,014
RMSE	0,120
DW	0,653

Anexo 1. Variables de NBR



Anexo 2. Tabla comparativa entre datos NBR y años tratados, comparados con los trabajos de los rodales.



Anexo 3. Tabla comparativa entre datos NBR a lo largo del tiempo estudiado.

Contrast	Difference	ardized diffe	Critical value	Pr > Diff	Significant
Apeo, saca y construcciÃ³n de fajas vs Astillado en pie, densidad normal	0,072	17,767	2,639	< 0.0001	Yes
Apeo, saca y construcciÃ³n de fajas vs Astillado en pie, densidad baja	0,067	10,206	2,639	< 0.0001	Yes
Apeo, saca y construcciÃ³n de fajas vs Apeo, saca y eliminaciÃ³n de restos	0,008	1,101	2,639	0,271	No
Apeo, saca y eliminaciÃ³n de restos vs Astillado en pie, densidad normal	0,064	9,152	2,639	< 0.0001	Yes
Apeo, saca y eliminaciÃ³n de restos vs Astillado en pie, densidad baja	0,059	6,795	2,639	< 0.0001	Yes
Astillado en pie, densidad baja vs Astillado en pie, densidad normal	0,005	0,772	2,639	0,440	No

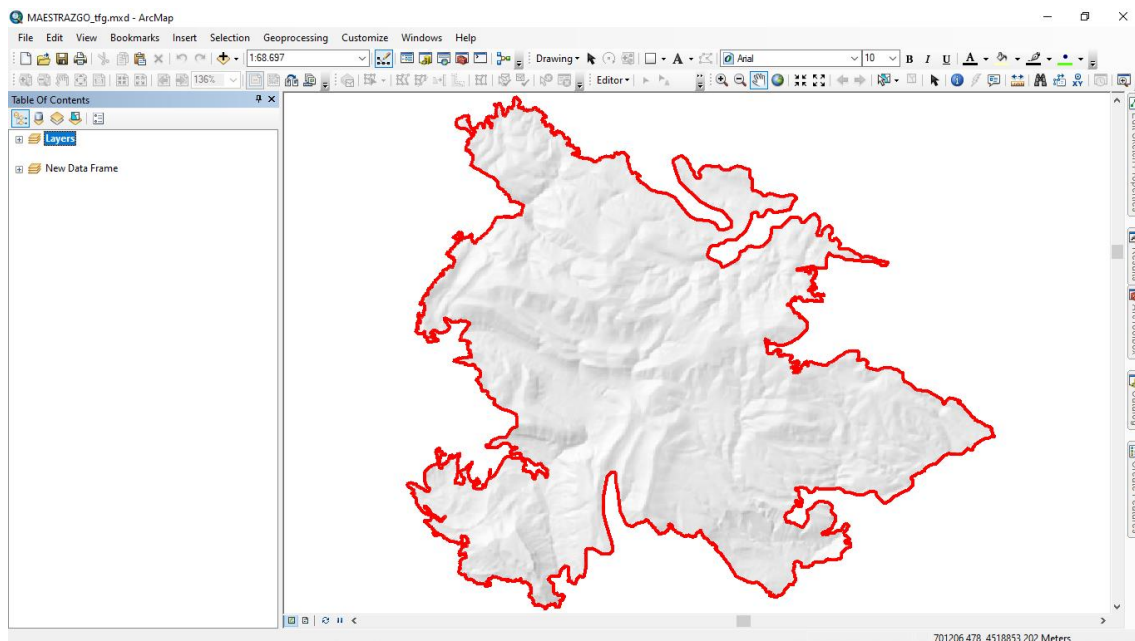
Anexo 4. Significancia de los trabajos de los rodales.

Contrast	Difference	Standardized difference	Critical value	Pr > Diff	Significant
2016 vs 2017	0,036	4,455	2,937	< 0.0001	Yes
2016 vs 2019	0,035	4,092	2,937	< 0.0001	Yes
2016 vs 2015	0,009	1,099	2,937	0,272	No
2016 vs 2018	0,006	0,707	2,937	0,480	No
2016 vs 2014	0,001	0,139	2,937	0,890	No
2014 vs 2017	0,035	4,317	2,937	< 0.0001	Yes
2014 vs 2019	0,034	3,960	2,937	< 0.0001	Yes
2014 vs 2015	0,008	0,961	2,937	0,337	No
2014 vs 2018	0,005	0,568	2,937	0,570	No
2018 vs 2017	0,031	3,748	2,937	0,000	Yes
2018 vs 2019	0,029	3,418	2,937	0,001	Yes
2018 vs 2015	0,003	0,392	2,937	0,695	No
2015 vs 2017	0,027	3,356	2,937	0,001	Yes
2015 vs 2019	0,026	3,045	2,937	0,002	Yes
2019 vs 2017	0,001	0,153	2,937	0,878	No
Modified significance level:			0,003		

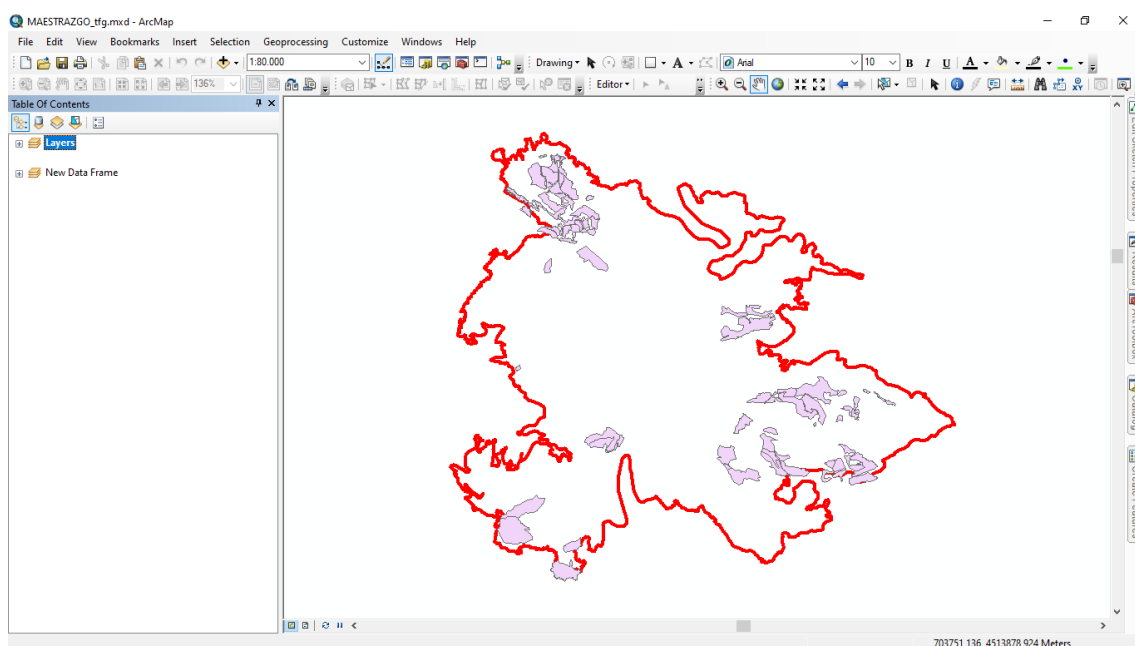
Anexo 5. Tabla comparativa de los diferentes años y su significancia.

[illegible]

Anexo 6. Base de datos obtenida mediante GEE y posteriormente tratada.



Anexo 7. Hillshade de la zona de estudio en ArcGIS.



Anexo 8. Capa de rodales de la zona de estudio.

El script para ver el compuesto usado en GEE en concreto sería el siguiente:

////////// 1 PHASE: LOAD REGION OF INTEREST //////////

```

//Add the shape into the map
Map.addLayer(tratamientos_A.draw('red'));
print(tratamientos_A); //Visualize object in the Console
//Center the map in the shapefile of the region of interest (tratamientos_A)
Map.centerObject(tratamientos_A,10);
// Application Landsat 8 QA band to mask clouds.
//////// 3 PHASE: VEGETATION INDICES CALCULATION (Landsat 8_TOA) //////////
//(USING DEFAULT BANDS NAMES OF THE IMAGE COLLECTION)
//Cálculo NBR:
var addNBR_15_df = function(image){
var NBR = image.expression('(NIR-SWIR_2)/(NIR + SWIR_2)',{
  'NIR':image.select('B5'),
  'SWIR_2':image.select('B7')}).rename('NBR');
return image.addBands(NBR);
};

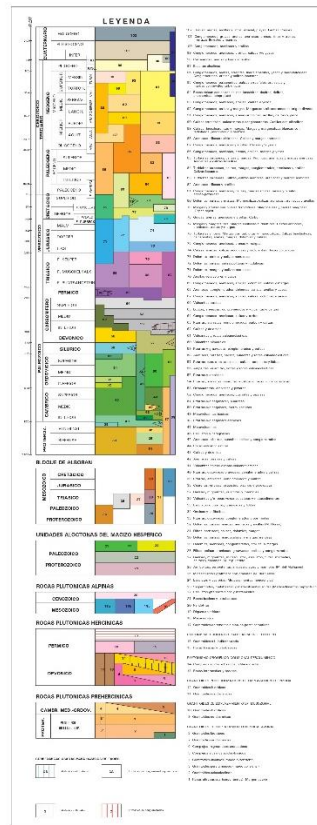
//Cálculo NDVI:
var addNDVI_15_df = function(image){
var NDVI = image.expression('(NIR-RED)/(NIR + RED)',{
  'NIR':image.select('B5'),
  'RED':image.select('B4')}).rename('NDVI');
return image.addBands(NDVI);
};

// Two functions: 1° Calculate the weighetd mean; 2° Obtain the fiel date.
var collection_uncorrected = L8_TOA_ind.map(function(image){
var data = image.reduceRegions(tratamientos_A,ee.Reducer.mean(),30)// Calculates the weighted
mean of each band and index with the final resolution of 30 m.
.map(function(feet){
return ee.Feature(feet).set('date', ee.Date(image.get('system:time_start')).format('YYYY-MM-
dd'));// Obtain the date of each image of the collection.
});
return data;
}).flatten();//Function flatten necessary to "flat" the nesting created in an arbitrary list of values
//(For example, incorrect: [[1], 2, [[3, 4], 5], [[]]] --> correct: [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8])

```

```
//Export the result to Google Drive
Export.table.toDrive(collection_uncorrected,
'trat_aliaga', //Task description
'Majadas', //Google Drive folder
'trat_aliaga', //File name
'CSV'); //Format o extension
```

Anexo 9. Script de GEE



Anexo 10. Leyenda usada en el mapa litológico